

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

04.05.2004

EP 03 / 50586

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

103 23 874.3

REC'D 18 JUN 2004

Anmeldetag:

26. Mai 2003

WIPO PCT

Anmelder/Inhaber:

Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors,
Kraftstoffsystem und ein Volumenstromregelventil

IPC:

F 02 D, F 02 M

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. April 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Klostermeyer

Beschreibung

Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors, Kraftstoffsystem und ein Volumenstromregelventil

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit einem Kraftstoffdruckspeicher. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Kraftstoffsystem für einen Verbrennungsmotor mit einem Kraftstoffdruckspeicher, sowie
10 ein Volumenstromregelventil zum Einsatz in einem Kraftstoffsystem.

15

Bei Verbrennungsmotoren wird Kraftstoff mittels einer Kraftstoffpumpe aus einem Tank zum Vorlauf einer nachgeschalteten Hochdruckpumpe gefördert. Die Hochdruckpumpe wird in der Regel durch den Verbrennungsmotor angetrieben und fördert den Kraftstoff in einen Kraftstoffdruckspeicher (Kraftstoffrail). Die Hochdruckpumpe selbst ist nicht geregelt und befördert den an ihrem Einlassanschluss zur Verfügung gestellten Kraftstoff in den Kraftstoffdruckspeicher.
20

5

Um der Hochdruckpumpe eine definierte Kraftstoffmenge zur Verfügung zu stellen, ist zwischen der Kraftstoffpumpe und der Hochdruckpumpe ein Volumenstromregelventil vorgesehen, dass durch eine Steuereinheit angesteuert wird. Abhängig von einem in einer Ventilschule des Volumenstromregelventils fließenden Strom wird der Kraftstoffdurchfluss durch das Volumenstromregelventil eingestellt. Über die der Hochdruckpumpe zur Verfügung gestellte Kraftstoffmenge kann der Druck in den
30 Kraftstoffdruckspeicher eingestellt werden.

35

Das Volumenstromregelventil hat in der Regel einen Leckfluss im unbestromten Zustand. Dies kann zu einem unerwünschten Kraftstoffdruckanstieg im Kraftstoffdruckspeicher führen, wenn die Einspritzmengen sehr klein sind oder z. B. bei Schubabschaltung kein Kraftstoff eingespritzt wird.

Eine Vermeidung des Leckflusses im unbestromten Zustand des Volumenstromregelventils ist aufgrund der Bauweise nur aufwendig realisierbar und zudem in bestimmten Fällen unerwünscht, wenn ein Notlauf des Verbrennungsmotors im Falle eines Ausfalls des Volumenstromregelventils bzw. der Steuereinheit auftritt.

Üblicherweise ist an dem Kraftstoffdruckspeicher ein Regulatorventil vorgesehen, mit dem der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher abhängig von einem Stellstrom geregelt wird. Das Regulatorventil wird aktiv über den Stellstrom angesteuert, so dass abhängig von dem Stellstrom und abhängig von einem Kraftstofffluss durch das Regulatorventil der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher eingestellt wird. Der Kraftstofffluss muss einen Grenzwert übersteigen, so dass das Regulatorventil in einem linearen Bereich betrieben werden kann. Dieser zusätzliche Kraftstofffluss durch das Regulatorventil muss von der Hochdruckpumpe gefördert werden, um das Regulatorventil im linearen Bereich betreiben zu können. Bei der Dimensionierung der Hochdruckpumpe erfordert dies, dass die Hochdruckpumpe das Regulatorventil mit dem Mindestdurchfluss versorgt, und darüber hinaus die zum Druckaufbau bzw. zum Halten des Kraftstoffdruckes in dem Kraftstoffdruckspeicher benötigte Menge zur Verfügung stellt.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein Kraftstoffsystem zur Verfügung zu stellen, mit dem ein Verbrennungsmotor effizienter betrieben werden kann und wobei insbesondere die Kraftstoffmenge, die die Hochdruckpumpe im laufenden Betrieb in den Kraftstoffdruckspeicher pumpen muss, reduziert ist.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 und das Kraftstoffsystem nach Anspruch 7 gelöst.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors vorgesehen.

In einem Kraftstoffdruckspeicher wird eine Kraftstoffmenge

5 mit einem Solldruck zum Einspritzen in einen Verbrennungsraum zur Verfügung gestellt. Der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher wird über eine Hochdruckpumpe erzeugt. Die Hochdruckpumpe wird über ein Volumenstromregelventil mit einem Kraft-

stofffluss versorgt. In einer ersten Betriebsart wird der

10 Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher auf den Solldruck geregelt, indem der Kraftstofffluss des an die Hochdruckpumpe gelieferten Kraftstoffes abhängig von der einzuspritzenden Kraftstoffmenge und dem Solldruck eingestellt wird. In einer

zweiten Betriebsart wird der Druck in dem Kraftstoffdruck-

15 speicher auf den Solldruck geregelt, indem bei einem vorgegebenen Kraftstofffluss der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher durch ein Ablassen von Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher auf den Solldruck eingestellt wird.

Üblicherweise wird der Solldruck in dem Kraftstoffdruckspeicher eingestellt, indem ein Volumenstromregelventil einen Kraftstofffluss zur Verfügung stellt, der um mindestens um einen bestimmten Betrag über der einzuspritzenden Kraftstoff-

20 Kraftstoffmenge liegt. Dies dient dazu, um ein Regulatorventil über das Kraftstoff von dem Kraftstoffdruckspeicher in den Niederdruckkreis abgeführt wird, in einem linearen Bereich zu betreiben. Das Regulatorventil wird von einer Steuergröße so angesteuert, dass sich bei einem bestimmten Durchfluss ein Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher einstellt. Der Kraft-

5 stoff wird in den Niederdruckkreis des Kraftstoffssystems abgelassen. Dies hat zur Folge, dass die Hochdruckpumpe über eine Mindestmenge an Kraftstoff in den Kraftstoffdruckspeicher pumpen muss, damit über das Regulatorventil dort der Druck auf den Solldruck eingestellt werden kann. Dies erfordert eine Hochdruckpumpe, die so dimensioniert ist, um eine

30 ausreichende Förderleistung zu gewährleisten.

Weiterhin ist, durch die technische Bauweise des Volumenstromregelventils bedingt, der Kraftstofffluss, der der Hochdruckpumpe zur Verfügung gestellt wird, nicht vollständig abzustellen, bzw. auf beliebig kleine Werte einzustellen, da

5 das Volumenstromregelventil einen ständigen Leckfluss durchlässt. Dies ist insbesondere bei Betriebszuständen mit geringen oder gar keinen Einspritzmengen, z. B. bei einer Schubabschaltung, problematisch, da der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher bei gesperrten Regulatorventil stetig ansteigt.

10

Um diese Nachteile zu vermeiden, sind erfindungsgemäß zwei Betriebszustände vorgesehen: In einer ersten Betriebsart wird der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher auf den Solldruck geregelt. Dies erfolgt indem der Solldruck lediglich dadurch

15 eingestellt wird, dass der Hochdruckpumpe die durch die Einspritzventile einzuspritzende Kraftstoffmenge zur Verfügung gestellt wird. Dadurch, dass die zugeführte Kraftstoffmenge eingestellt wird, kann der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher reguliert werden. Währenddessen ist das Regulatorventil

20 vollständig gesperrt und ein geregeltes Abfließen von Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher in den Niederdruckkreis findet nicht statt. Somit kann in der ersten Betriebsart die Steuerung der einzuspritzenden Kraftstoffmenge und dem Soll-

5 druck lediglich durch die Regelung des Kraftstoffflusses durch das Volumenstromregelventil durchgeführt werden.

Eine zweite Betriebsart betrifft den Betrieb des Verbrennungsmotors bei Schubabschaltung, im Notlauf oder bei sehr geringen Einspritzmengen, wie z. B. im Leerlauf. In diesem

30 Fall wird das Volumenstromregelventil nicht angesteuert, so dass die Hochdruckpumpe lediglich den Leckfluss durch das Volumenstromregelventil in den Kraftstoffdruckspeicher fördert. Ist die aufgrund des Leckflusses zugeführte Kraftstoffmenge größer als die einzuspritzende Kraftstoffmenge, so steigt der

35 Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher über den Solldruck an. Der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher wird dann durch Ablassen von Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher vorge-

nommen. Eine Druckregelung mit Hilfe des Regulatorventils auf den Solldruck ist bei sehr geringen Einspritzmengen auch möglich, wenn das Regulatorventil, durch das Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher abgelassen wird, nicht in einem linearen Bereich betrieben wird. Dadurch ist es bei einer solchen Druckregelung nicht notwendig, über die Hochdruckpumpe einen Mindestkraftstofffluss zur Verfügung zu stellen.

Die zweite Betriebsart wird eingenommen, wenn der benötigte Kraftstofffluss in den Kraftstoffdruckspeicher den ersten Kraftstofffluss unterschreitet und/oder die erste Betriebsart wird eingenommen, wenn der benötigte Kraftstofffluss einen zweiten Kraftstofffluss überschreitet. Vorzugsweise ist dabei der erste Kraftstofffluss kleiner als der zweite Kraftstofffluss, so dass durch eine so gebildete Hysterese ein Schwingen zwischen der ersten Betriebsart und der zweiten Betriebsart vermieden werden kann, wenn der einzuspritzende Kraftstofffluss in einem Grenzbereich liegt.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Kraftstoffsystem für einen Verbrennungsmotor mit einem Kraftstoffdruckspeicher vorgesehen, um eine einzuspritzende Kraftstoffmenge mit einem Solldruck zur Verfügung zu stellen. Das Kraftstoffsystem weist eine Hochdruckpumpe auf, um Druck im Kraftstoffdruckspeicher zu erzeugen. Es weist weiterhin ein Volumenstromregelventil auf, um die Hochdruckpumpe mit einem einstellbaren Kraftstofffluss zu versorgen. Über ein Regulatorventil wird Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher abgeführt. Es ist eine Regeleinheit vorgesehen, die mit dem Volumenstromregelventil verbunden ist, um in einer ersten Betriebsart den Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher durch die Höhe des Kraftstoffflusses des an die Hochdruckpumpe gelieferten Kraftstoffes abhängig von der einzuspritzenden Kraftstoffmenge und dem Solldruck einzustellen. Die Regeleinheit ist weiterhin mit dem Regulatorventil verbunden, um in einer ersten Betriebsart das Regulatorventil zu sperren und in einer zweiten Betriebsart den Druck in dem Kraftstoff-

druckspeicher über ein Abführen des Kraftstoffes aus dem Kraftstoffdruckspeicher auf den Solldruck zu regeln.

Auf diese Weise kann ein Kraftstoffsystem zur Verfügung gestellt werden, das in zwei Betriebsarten betrieben werden kann. Die erste Betriebsart betrifft den Betrieb des Verbrennungsmotors unter Last, wobei der Solldruck in dem Kraftstoffdruckspeicher über eine Steuerung des Volumenstromregelventils eingestellt wird. Im statischen Zustand entspricht der Kraftstofffluss durch das Volumenstromregelventil bei gleichbleibender Last der jeweils einzuspritzenden Kraftstoffmenge, so dass der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher beibehalten wird. In der zweiten Betriebsart wird die Hochdruckpumpe im Wesentlichen mit dem Leckagefluss durch das Volumenstromregelventil versorgt. Dabei ist der übliche Leckagefluss größer als die in der zweiten Betriebsart einzuspritzende Kraftstoffmenge. Über eine Druckregelung wird nun der überschüssige Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher über das Regulatorventil abgeführt. Das Regulatorventil ist dabei so eingestellt, dass der gewünschte Solldruck abhängig von dem Kraftstofffluss der abzuführenden Kraftstoffmenge und abhängig von einem Stellstrom in definierter Weise abhängt.

Das Regulatorventil ist vorzugsweise so gestaltet, dass es in der zweiten Betriebsart den überschüssigen Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher in eine Kraftstoffleitung abführt, die das Volumenstromregelventil mit einer Niederdruckpumpe verbindet. Vorzugsweise weist die Regeleinheit eine Umschalt-einheit auf, um zwischen der ersten Betriebsart und der zweiten Betriebsart umzuschalten. Die Umschalteinheit schaltet in die zweite Betriebsart, wenn der Kraftstofffluss durch das Volumenstromregelventil einen ersten Kraftstofffluss unterschreitet und/oder in die erste Betriebsart, wenn der Kraftstofffluss durch das Volumenstromregelventil einen zweiten Kraftstofffluss überschreitet. Dabei ist der erste Kraftstofffluss vorzugsweise geringer als der zweite Kraftstofffluss. Auf diese Weise kann vermieden werden, dass ein

Schwingen zwischen der ersten und der zweiten Betriebsart auftritt.

5 Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden im folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Kraftstoffsystems;

10 Figur 2 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Abhängigkeit des Durchflusses des Volumenstromregelventils von dem angelegten Steuerstrom und zur Verdeutlichung von Bauteilparametern;

15 Figur 3 ein Ansteuerdiagramm für das Regulatorventil für den Druck im Kraftstoffdruckspeicher abhängig von dem Durchfluss des Regulators und den an dem Regulator anliegenden Steuerstrom;

20 Figur 4 ein Diagramm zur Darstellung der Abhängigkeit des Durchflusses durch das Volumenstromregelventil in Abhängigkeit von der Motordrehzahl und der eingespritzten Kraftstoffmasse;

Figur 5 einen Ausschnitt aus der Regeleinheit zum Schalten zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebszustand.

5 In Figur 1 ist ein Kraftstoffeinspritzsystem eines Verbrennungsmotors, insbesondere eines Dieselmotors dargestellt. Das Kraftstoffeinspritzsystem weist einen Kraftstoffbehälter 1 auf, aus dem Kraftstoff über eine Niederdruckpumpe 2 und über eine Zuführleitung 4 einem Volumenstromregelventil 3 zugeführt wird. Um Beschädigungen der Zuführleitung 4 zu vermeiden, ist ein Überdruckventil 5 vorgesehen, das bei einem zu großen Kraftstoffdruck in der Zuführleitung 4, Kraftstoff in den Kraftstoffbehälter 1 abführt.

35 Das Volumenstromregelventil 3 ist unmittelbar an einem Einlass einer Hochdruckpumpe 6 angeordnet, die den an einem Ausgang des Volumenstromregelventil 3 bereitgestellten Kraft-

stoff mit einem eingestellten Kraftstofffluss in einen Kraftstoffdruckbehälter 7 befördert. Die Hochdruckpumpe 6 ist mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt, so dass die Hochdruckpumpe 6 von dem Verbrennungsmotor angetrieben wird. Die Hochdruckpumpe 6 ist in der Lage, den Kraftstoff in den Kraftstoffdruckspeicher 7 unter Aufbringung eines hohen Förderdruckes zu bringen.

Der Kraftstoffdruckspeicher 7 ist mit Einspritzventilen 8 verbunden, die gesteuert durch eine Regelungseinheit 9 Kraftstoff in Verbrennungsräume des Verbrennungsmotors einspritzen. Die Regelungseinheit 9 regelt dabei die Zeitdauer, während der jedes einzelne Einspritzventils 8 geöffnet ist, so dass der in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 unter Druck stehende Kraftstoff in den Verbrennungsraum eingespritzt wird.

Die Regelungseinheit 9 steuert das Volumenstromregelventil 3, sowie ein Regulatorventil 10 mit Steuersignalen an. Je nach Drehzahl und Last des anzutreibenden Verbrennungsmotors soll in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 ein Solldruck vorherrschen, der mittels eines mit der Regelungseinheit 9 verbundenen Drucksensors 11 überprüft wird. Der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 wird mit Hilfe des Volumenstromregelventils 3 und des Regulatorventils 10 geregelt. Der über das Regulatorventil 10 abgeführte Kraftstoff wird in die Zuführleitung 4 zwischen Niederdruckpumpe 2 und Volumenstromregelventil 3 geleitet.

Zum Einstellen des Druckes in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 liefert das Volumenstromregelventil 3 einen Kraftstofffluss an die Hochdruckpumpe 6, der größer ist, als durch die Einspritzventile 8 in die Verbrennungsräume eingespritzt wird. Damit der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 nicht über den Solldruck ansteigt, wird das Regulatorventil 10 mit einem Stellstrom von der Regelungseinheit 9 so geöffnet, dass die zu viel geförderte Kraftstoffmenge wieder in die Zuführleitung 4 abgeführt wird.

Damit über das Regulatorventil 10 der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 möglichst genau eingestellt werden kann, ist ein Mindestfluss durch das Regulatorventil notwendig.

5

In Figur 3 ist die Kennlinie für das Regulatorventil 10 dargestellt. Man erkennt, dass erst bei einem Mindestkraftstofffluss Q_{\min} durch den Regulator der Druck P_{rail} in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 im Wesentlichen durch den Stellstrom von der Regelungseinheit 9 eingestellt werden kann. Ist der Kraftstofffluss Q durch das Regulatorventil 10 geringer als der Mindestkraftstofffluss Q_{\min} hängt der Druck P_{rail} in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 stärker von dem Kraftstofffluss Q durch das Regulatorventil 10 und deutlich weniger von dem Stellstrom I_{reg} , der von der Regelungseinrichtung 9 bereitgestellt wird, ab.

Um das Regulatorventil 10 in dem linearen Bereich betreiben zu können, ist es daher üblicherweise notwendig, dass die Hochdruckpumpe 6 einen Kraftstofffluss in den Kraftstoffdruckspeicher 7 liefert, der über den Kraftstofffluss der einzuspritzenden Kraftstoffmenge mindestens um den Mindestkraftstofffluss des Regulatorventils 10 übersteigt. Dies erfordert eine entsprechende Dimensionierung der Hochdruckpumpe 6, die in der Lage sein muss, die dadurch vorgegebene Kraftstoffmenge zu fördern.

Das Volumenstromregelventil 3 wird über einen Stellstrom von der Regelungseinheit 9 angesteuert, so dass durch die Größe des Stellstromes der Fluss des Kraftstoffes eingestellt werden kann. Das Volumenstromregelventil 3 hat in der Regel einen Leckfluss im unbestromten Zustand. Dies führt zu einem unerwünschten Kraftstoffdruckanstieg, bei Betriebszuständen mit extrem kleinen bzw. keinen Einspritzmengen, z. B. bei einem Notlaufbetrieb bzw. bei Schubabschaltung.

In Figur 2 ist eine obere und eine untere Grenze von Kennlinien von im Wesentlichen baugleichen Volumenstromregelventilen dargestellt. Man erkennt, dass in Bereichen zwischen 0 bis 0,6 A, das Volumenstromregelventil in der Regel nicht vollständig schließt und somit ein Leckfluss über die Hochdruckpumpe 6 in den Kraftstoffdruckspeicher 7 gelangt. Wird weniger Kraftstoff in die Verbrennungsräume eingespritzt, als durch diesen Leckfluss zur Verfügung gestellt wird, steigt der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 an. Da der Mindestkraftstofffluss für das Regulatorventil 10 nicht gegeben ist, hängt der sich in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 einstellende Druck von der zuviel zugeführten Kraftstoffmenge und dem eingestellten Stellstrom ab.

In Figur 4 ist der Kraftstofffluss durch das Volumenstromregelventil in Abhängigkeit von der Motordrehzahl und der eingespritzten Kraftstoffmenge Q_{inj} dargestellt.

Zum Betrieb eines Verbrennungsmotors mit einem solchen Kraftstoffsystem wird nun erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass die Regelungseinheit 9 das Volumenstromregelventil 3 und das Regulatorventil 10 gemäß zwei Betriebsarten ansteuert. Die erste Betriebsart ist dadurch definiert, dass der Kraftstofffluss, der durch das Volumenstromregelventil 3 über die Hochdruckpumpe 6 in den Kraftstoffdruckspeicher 7 befördert werden kann, im Wesentlichen der einzuspritzenden Kraftstoffmenge entspricht. In diesem Fall wird das Regulatorventil 10 nicht angesteuert, und es bleibt damit geschlossen. Der Soll-
druck in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 wird somit durch die Steuerung des Kraftstoffflusses durch das Volumenstromregelventil 3 erreicht. Im stabilen Betrieb wird daher der Kraftstofffluss, der dem Kraftstoffdruckspeicher 7 zugeführt wird, im Wesentlichen der eingespritzten Kraftstoffmenge entsprechen.

Die zweite Betriebsart wird angenommen, wenn der Mindestfluss, der aufgrund von Leckage durch das Volumenstromregel-

ventil 3 fließt, größer ist als die einzuspritzende Kraftstoffmenge. Dies ist insbesondere bei einer Schubabschaltung der Fall, wenn kein Kraftstoff durch die Einspritzventile 8 in die Verbrennungsräume eingespritzt wird. Dies kann jedoch
 5 auch bei einem Notlaufbetrieb bzw. im Leerlauf der Fall sein, je nach dem, wie groß der Leckfluss des Volumenstromregelventils im unbestromten bzw. im schwach angesteuerten Zustand ist. In diesem Fall würde der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 bei einem geschlossenen Regulatorventil kontinuierlich ansteigen und wäre daher über die Stellgröße für das
 10 Volumenstromregelventil 3 nicht mehr von der Regelungseinheit 9 zu regeln. Aus diesem Grunde sieht die zweite Betriebsart vor, dass der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher 7 über das Regulatorventil 10 eingestellt wird. Das Regulatorventil 10
 15 wird dabei im nicht linearen Bereich betrieben. Den von der Regelungseinheit 9 bereitgestellt Stellstrom ist an den linearen Verlauf der Kenngrößen des Regulatorventils angepasst. Auf diese Weise wird der Druck im Kraftstoffdruckspeicher 7 im Wesentlichen durch die von dem Volumenstromregelventil 3
 20 aufgrund der Leckage zuviel beförderte Kraftstoffmenge sowie den Stellstrom aus der Regelungseinheit 9 bestimmt.

Die Unterscheidung in zwei Betriebsarten für das Kraftstoffsystem hat zum einen den Vorteil, dass die Hochdruckpumpe
 25 kleiner dimensioniert werden kann, da das Regulatorventil nicht im Normalbetrieb, d. h. in der ersten Betriebsart, mit dem Mindestkraftstofffluss versorgt werden muss. Zum anderen kann das Regulatorventil eine geringere mechanische Regelgüte aufweisen, da diese Bauteil nur als Zusatzleckage betrieben
 30 wird. Zusätzlich kann das Antriebsmoment erheblich, vor allem im leerlaufnahen Bereich, reduziert werden, da die Vorsteuerung des Regulatorventils mit dem Mindestkraftstofffluss nicht notwendig ist.

35 Die erste Betriebsart wird eingenommen, wenn der benötigte Kraftstofffluss, d. h. die einzuspritzende Kraftstoffmenge einen ersten Kraftstofffluss übersteigt und die zweite Be-

triebsart wird angenommen, wenn der benötigte Kraftstofffluss einen zweiten Kraftstofffluss unterschreitet. Damit im Grenzbereich kein schwingender Wechsel zwischen der ersten und der zweiten Betriebsart auftritt, ist der erste Kraftstofffluss
 5 größer als der zweite Kraftstofffluss.

In Figur 5 ist eine mögliche Umschalteinheit 12 dargestellt, die in der Regelungseinheit 9 vorgesehen sein kann und dazu dient, beim Umschalten, zwischen der ersten und der zweiten
 10 Betriebsart eine Hysterese vorzusehen. Der Schaltung werden Werte für einen ersten Kraftstofffluss Q_1 und einen zweiten Kraftstofffluss Q_2 zur Verfügung gestellt. Der Kraftstofffluss durch das Volumenstromregelventil 3 entspricht dem momentanen Kraftstofffluss Q .

15

Es ist eine erste Vergleichereinheit 20 vorgesehen, die den momentanen Kraftstofffluss Q mit dem zweiten Kraftstofffluss Q_2 vergleicht und eine logische „1“ ausgibt, sobald der momentane Kraftstofffluss Q kleiner ist als der zweite Kraftstofffluss Q_2 .
 20

In einer zweiten Vergleichereinrichtung 21 wird der momentane Kraftstofffluss Q mit dem ersten Kraftstofffluss Q_1 verglichen und eine logische „1“ ausgegeben, wenn der momentane Kraftstofffluss Q den ersten Kraftstofffluss Q_1 überschreitet. Der Ausgang der ersten Vergleichereinrichtung 20 ist mit einem Setzeingang eines Flip-Flops 22 verbunden. Weiterhin ist der Ausgang der ersten Vergleichereinrichtung 20 über einen Inverter 23 mit einem Eingang eines Und-Gatters 24 verbunden. Ein Ausgang der zweiten Vergleichereinrichtung 21 ist mit einem weiteren Eingang des Und-Gatters 24 verbunden. Ein Ausgang des Und-Gatters 24 ist mit einem Rücksetzeingang des Flip-Flops 22 verbunden. Auf diese Weise kann am nicht invertierenden Ausgang des Flip-Flops 22 der jeweilige Betriebsmodus abgefragt werden. Dabei entspricht eine logische „0“ dem ersten Betriebsmodus und eine logische „1“ dem zweiten Betriebsmodus.
 30
 35

Um die Schwelle zu ermitteln, bei der in der ersten und zweiten Betriebsart umgeschaltet werden soll, ist es notwendig, den Mindestkraftstofffluss, d. h. der Leckfluss durch das Volumenstromregelventil zu ermitteln. Der Mindestkraftstofffluss kann im Schubbetrieb, d. h. es erfolgt keine Einspritzung in die Verbrennungsräume, ermittelt werden. Dazu wird im Schubbetrieb der Druck im Kraftstoffdruckspeicher kurz abgesenkt und der Solldruck anschließend wieder erhöht, damit kein Kraftstofffluss durch das Regulatorventil erfolgt.

Aus dem Anstieg des Druckes $P_{rail}(t)$ im Kraftstoffdruckspeicher kann Q_{min} errechnet werden.

$$P_{rail}(t) = \frac{\beta}{V_{rail} * \rho} * m_{rail} + \frac{\beta}{V_{rail} * \rho} * \int_0^T (Q_{min} - Q_{PCV} - Q_{inj}) dt,$$

wobei β der Kompressibilität des Kraftstoffes, m_{rail} der Masse des Kraftstoffes, V_{rail} dem Volumen des Kraftstoffdruckspeichers, ρ der Dichte des Kraftstoffes; Q_{PCV} dem Durchfluss durch das Regulatorventil und Q_{inj} dem Durchfluss durch die Einspritzventile entspricht.

Der ermittelte Mindestkraftstofffluss Q_{min} entspricht dann der Leckage durch das Volumenstromregelventil. Steigt der Kraftstoffdruck im Kraftstoffdruckspeicher während der Zeit T um Δp an, so ergibt sich für den Schubbetrieb und für ein geschlossenes Regulatorventil folgende Formel:

$$Q_{min} = \frac{V_{rail} * \rho}{\beta} * \frac{\Delta p}{T}$$

Die Adaption kann z. B. folgendermaßen bei einem Solldruck von 50 bar im Schubbetrieb durchgeführt werden:

Zunächst wurde der Druck im Kraftstoffdruckspeicher auf einen ersten Druck von 40 bar durch die Vorgabe des Solldrucks des

Druckreglers auf 40 bar abgesenkt. Anschließend wird der Soll-
 druck für das Regulatorventil auf einen zweiten Druck von
 120 bar vorgegeben und eine Zeitmesseinrichtung gestartet.
 Die Zeit T wird gemessen, bis der Druck im Kraftstoffdruck-
 5 speicher einen vordefinierten dritten Druck, z. B. 60 bar (Δp
 = 20 bar) erreicht hat. Daraus kann gemäß oben angegebener
 Formel der Mindestkraftstofffluss Q_{\min} errechnet werden. Als
 weitere Alternative kann der Mindestkraftstofffluss auch be-
 stimmt werden, wenn das Volumenstromregelventil während der
 10 Zeit T nicht angesteuert wird, kein Durchfluss durch das Re-
 gulatorventil stattfindet, und die Kraftstoffmenge m_{inj} einge-
 spritzt wird.

$$Q_{\min} = \frac{V_{rail} * p}{\beta} * \frac{\Delta p}{T} + \frac{m_{inj}}{T}$$

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit einem Kraftstoffdruckspeicher (7), um eine einzuspritzende Kraftstoffmenge mit einem Solldruck zur Verfügung zu stellen, wobei Druck im Kraftstoffdruckspeicher über eine Hochdruckpumpe (6) erzeugt wird, wobei die Hochdruckpumpe (6) mit einem einstellbaren Kraftstofffluss versorgt wird, wobei in einer ersten Betriebsart der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher (7) auf den Solldruck geregelt wird, indem der Kraftstofffluss des an die Hochdruckpumpe (6) gelieferten Kraftstoffes abhängig von der einzuspritzenden Kraftstoffmenge und dem Solldruck eingestellt wird, wobei in einer zweiten Betriebsart der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher (7) auf den Solldruck geregelt wird, indem bei einem vorgegebenen Kraftstofffluss der Druck im Kraftstoffdruckspeicher (7) durch ein Ablassen von Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher (7) auf den Solldruck eingestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zweite Betriebsart eingenommen wird, wenn der Kraftstofffluss einen ersten Kraftstofffluss unterschreitet, und/oder wobei die erste Betriebsart eingenommen wird, wenn der Kraftstofffluss einen zweiten Kraftstofffluss überschreitet.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die zweite Betriebsart im Leerlaufbetrieb des Verbrennungsmotors und/oder bei Schubabschaltung eingenommen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei der erste Kraftstofffluss kleiner ist als der zweite Kraftstofffluss.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei der erste und / oder der zweite Kraftstofffluss aus einem Kraft-

stoffleckfluss ermittelt wird, wobei der Kraftstoffleckfluss ermittelt wird gemäß folgender Schritte:

- Einstellen eines Schubbetriebes des Verbrennungsmotors, so dass kein Kraftstoff eingespritzt wird;
- 5 - Einstellen des Drucks im Kraftstoffdruckspeicher auf einen ersten Druckwert;
- Einstellen des Solldrucks, um den Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher gemäß der ersten Betriebsart zu erhöhen;
- Messen der Zeit für den Druckanstieg auf einen zweiten
- 10 Druck;
- Ermitteln des Kraftstoffleckflusses mit der Zeit für den Druckanstieg und mit der Druckdifferenz zwischen erstem Druck und zweitem Druck.

15 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei in der ersten Betriebsart im Wesentlichen kein Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher (7) abgelassen wird.

20 7. Kraftstoffsystem für einen Verbrennungsmotor mit einem Kraftstoffdruckspeicher (7), um eine einzuspritzende Kraftstoffmenge mit einem Solldruck zur Verfügung zu stellen, mit einer Hochdruckpumpe (6), um Druck im Kraftstoffdruckspeicher (7) zu erzeugen,

25 mit einem Volumenstromregelventil (3), um die Hochdruckpumpe (6) mit einem einstellbaren Kraftstofffluss zu versorgen, mit einem Regulatorventil (10), um Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher (7) abzuführen,

und mit einer Regelungseinheit (9), die mit dem Volumenstromregelventil verbunden ist, um in einer ersten Betriebsart den

30 Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher (7) durch den Kraftstofffluss des an die Hochdruckpumpe (6) gelieferten Kraftstoffes abhängig von der einzuspritzenden Kraftstoffmenge und dem Solldruck, und wobei die Regelungseinheit (9) mit dem Regulatorventil (10) verbunden ist, um in der ersten Betriebs-

35 art das Regulatorventil (10) zu sperren und in einer zweiten Betriebsart den Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher (7) über

ein Abführen des Kraftstoffes aus dem Kraftstoffdruckspeicher (7) auf den Solldruck zu regeln.

- 5 8. Kraftstoffsystem nach Anspruch 7, wobei das Regulator-
ventil (10) in der zweiten Betriebsart den überschüssigen
Kraftstoff aus dem Kraftstoffdruckspeicher (7) in eine Kraft-
stoffleitung (4) abführt, die das Volumenstromregelventil (3)
mit einer Niederdruckpumpe (2) verbindet.
- 10 9. Kraftstoffsystem nach Anspruch 7 oder 8, wobei das Re-
gulatorventil (10) am Ausgang der Hochdruckpumpe (6) angeord-
net ist.
- 15 10. Kraftstoffsystem nach Anspruch 7 bis 9, wobei die Re-
geleinheit eine Umschalteinheit (12) zum Umschalten zwischen
der ersten Betriebsart und der zweiten Betriebsart,
wobei die Umschalteinheit (12) in die zweite Betriebsart um-
schaltet, wenn der Kraftstofffluss durch das Volumenstromre-
gelventil (3) einen ersten Kraftstofffluss unterschreitet,
20 und/oder
wobei die Umschalteinheit (12) in die erste Betriebsart um-
schaltet, wenn der Kraftstofffluss durch das Volumenstromre-
gelventil (3) einen zweiten Kraftstofffluss überschreitet.

Zusammenfassung

Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors, Kraftstoffsystem und ein Volumenstromregelventil

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors mit einem Kraftstoffdruckspeicher, um Kraftstoff mit einem Solldruck zur Verfügung zu stellen, wobei Druck im Kraftstoffdruckspeicher über eine Hochdruckpumpe erzeugt wird, wobei die Hochdruckpumpe über ein Volumenstromregelventil mit einem Kraftstofffluss versorgt wird, wobei in einer ersten Betriebsart der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher auf den Solldruck geregelt wird, indem über das Volumenstromregelventil den Kraftstofffluss des an die Hochdruckpumpe gelieferten Kraftstoffes geregelt wird, wobei in einer zweiten Betriebsart der Druck in dem Kraftstoffdruckspeicher auf den Solldruck geregelt wird, indem der Druck im Kraftstoffdruckspeicher auf den Solldruck vermindert wird.

20 Figur 1

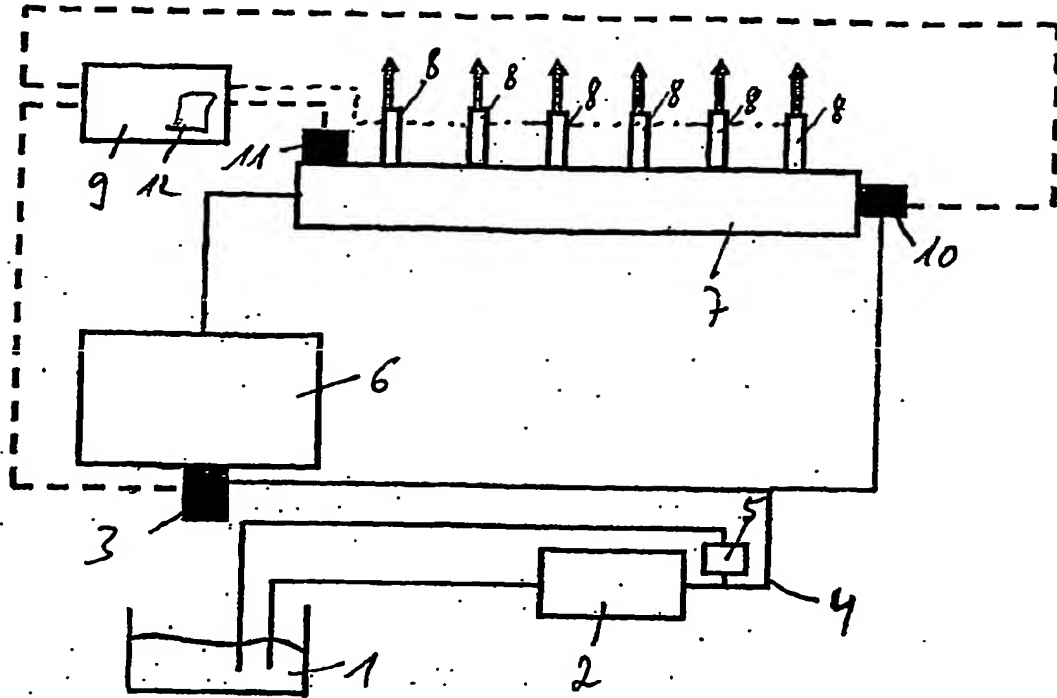


Fig. 1

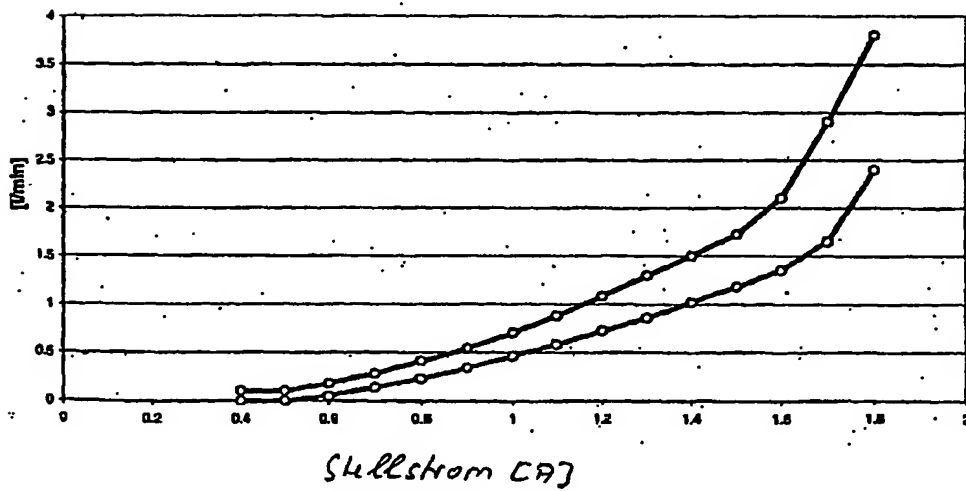


Fig. 2

213

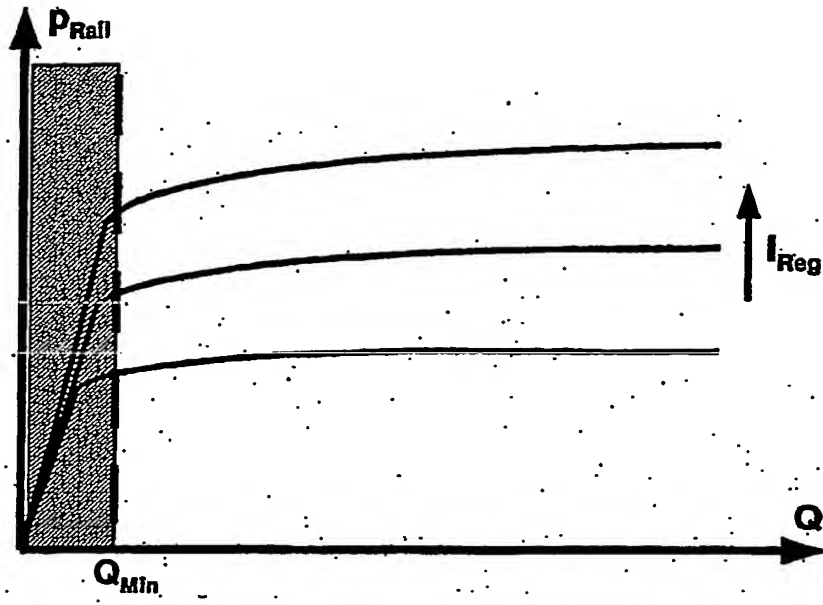


Fig. 3

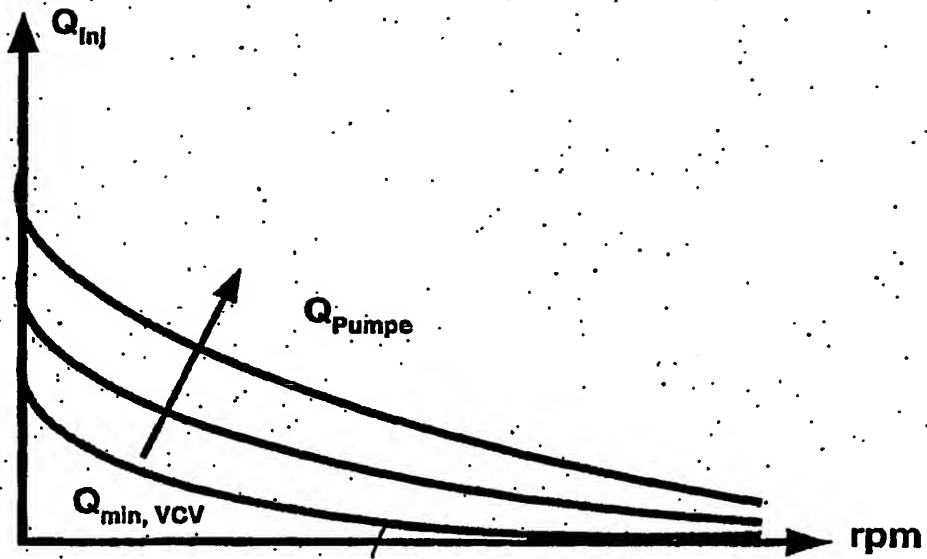


Fig. 4

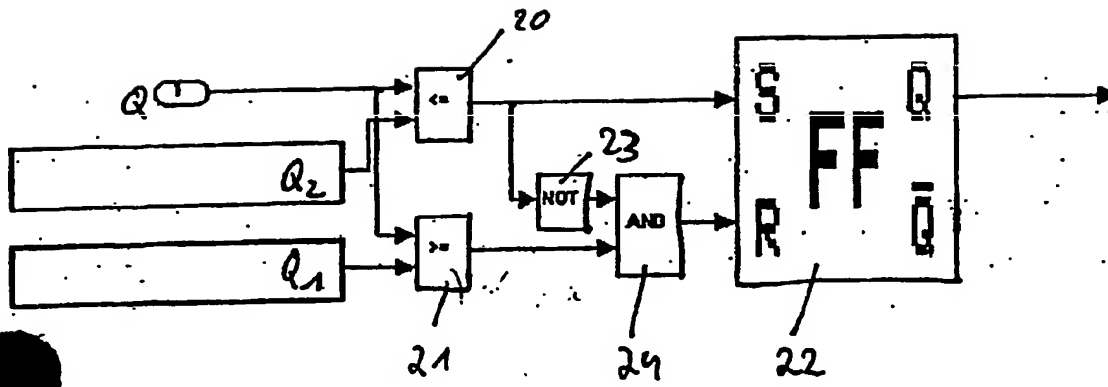


Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.